

Оказалось, что введение всего лишь двух размеров частиц в систему существенно влияет на равновесные свойства, что говорит о необходимости учета полидисперсности при синтезе и анализе поведения магнитных полимеров.

1. Sánchez et al., Magnetic filament brushes: tuning the properties of a magnetoresponsive supramolecular coating, *Faraday Discuss.* 186, 241 (2016).
2. Kantorovich et al., The influence of shape anisotropy on the microstructure of magnetic dipolar particles, *Soft Matter* 9, 6549 (2013).

## АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛА ФЛЮОРИТА КАЛЬЦИЯ ВЫЗВАННОЕ ПРИМЕСЬЮ НИКЕЛЯ

Сарычев М.Н.<sup>1</sup>, Бондаревская А.С.<sup>1\*</sup>, Шутов И.С.<sup>1</sup>, Жевстовских И.В.<sup>2</sup>,  
Гудков В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [any-bondarevskaya@yandex.ru](mailto:any-bondarevskaya@yandex.ru)

## ANOMALOUS BEHAVIOR OF ELASTIC PROPERTIES OF CALCIUM FLUORITE CRYSTAL INDUCED BY NICKEL IMPURITY

Sarychev M.N.<sup>1</sup>, Bondarevskaya A.S.<sup>1\*</sup>, Shutov I.S.<sup>1</sup>, Zhevstovskikh I.V.<sup>2</sup>,  
Gudkov V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>) M.N. Miheev Institute of Metal Physics, UB RAS, Yekaterinburg, Russia

We report the results of ultrasound studies in the  $\text{CaF}_2$  crystal containing the low concentration impurity of nickel. We observed anomaly peaks of the elastic modulus in the temperature dependence of attenuation of ultrasound at frequency 20-55 MHz for the shear wave propagating along the [100] direction and anomalous softening of the elastic modulus  $c_{44}$  in the temperature interval 40-60 K. For the longitudinal mode propagating along the [100] direction the peak of attenuation and the softening of the elastic modulus  $c_{11}$  did not appear. We show that these anomalies are due to the ultrasound relaxation by the system of non-interaction  $\text{Ni}^{2+}$  Jahn-Teller centers with the  $^3T_1$  ground orbital state.

При изовалентном замещении кальция ионами  $\text{Ni}^{2+}$  в кристалле со структурой флюорита  $\text{CaF}_2$ , ион  $\text{Ni}^{2+}$  оказывается в кубическом окружении, образованными ионами фтора, с основным трехкратно вырожденным орбитальным состоянием  $^3T_1$ . В этом случае энергия кристалла может понижаться за счет локальных искажений решетки, приводящих к снятию вырождения, в чем проявляется эффект Яна-Теллера (ЯТ) [1]. На температурных зависимостях поглощения

ультразвука и упругих модулей эффект ЯТ проявляется в виде характерных аномалий, которые ранее были обнаружены в другом кристалле со структурой флюорита, а именно  $SrF_2 : Cr^{2+}$ , с основным состоянием  $^5T_2$  [2,3]. В  $SrF_2 : Cr^{2+}$  на температурной зависимости был обнаружен пик поглощения для моды, связанной с упругим модулем  $c_{44}$ , и меньший по амплитуде пик для моды, связанной с упругим модулем  $(c_{11} - c_{12})/2$ . В [2,3] было установлено, что такие аномалии упругих свойств свидетельствуют о проявлении полной  $T_{2g} \otimes (e_g + t_{2g})$  задачи эффекта ЯТ со значительной квадратичной вибронной связью, что приводит к орторомбической симметрии глобальных минимумов адиабатического потенциала. Исследование упругих свойств в кристалле  $CaF_2 : Ni^{2+}$  было выполнено с целью выявить, является ли орторомбическая симметрия глобальных минимумов общим свойством для других примесных центров в кристаллах со структурой флюорита.

В работе представлены результаты ультразвуковых исследований в кристалле  $CaF_2$ , содержащем примесь никеля малой концентрации. Продольные и поперечные ультразвуковые волны распространялись вдоль кристаллографического направления (100), измерения были выполнены на частотах 20-55 МГц в интервале температур от 4 К до 140 К. На температурной зависимости поглощения поперечной волны, связанной с упругим модулем  $c_{44}$ , был обнаружен пик вблизи 50 К и аномальное смягчение упругого модуля в интервале 40-60 К. При повышении частоты ультразвука эти аномалии сдвигались в область более высоких температур, что указывало на их релаксационную природу. Для продольной волны, связанной с упругим модулем  $c_{11}$ , наблюдались монотонные зависимости во всем исследованном интервале температур. Полученные данные свидетельствуют о тригональных искажениях ЯТ центра  $Ni^{2+}$  в  $CaF_2$ .

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-32-00432) и ключевого центра превосходства УрФУ “Радиационные и ядерные технологии”.*

1. Bersuker I.B., The Jahn-Teller Effect, Cambridge University Press, U.K. (2006).
2. Bersuker I.B., Gudkov V.V. et al., J. Appl. Phys., 119, 225108 (2016).
3. Averkiev N.S., Bersuker I.B., Gudkov V.V. et al., J. Phys. Soc. Jpn, 86, 114604 (2017).